

BS21 型模擬飛行装置の飛行特性について

千馬 浩充*

A Flight Characteristic of the Flight Simulator BS21

by

Hiromitsu SENBA*

要 旨

飛行機の操縦訓練において、模擬飛行装置（フライトシミュレータ）を用いた訓練がある。近年、コンピュータの性能が向上したことによって家庭用のコンピュータを用いて、本格的な飛行機の操縦訓練ができるフライトシミュレーションソフトも登場している。このような中、本学での飛行機の操縦訓練においてもフライト・トレーニング・デバイス（FTD）を用いた訓練を実施している。特に実機での訓練が困難な大型機（B737 型機）の FTD は、大型機に特有な操縦操作を修得するとともに、その特性を理解することで、飛行機の操縦技量を総合的に向上させる効果がある。しかしながら、この B737 型 FTD の飛行特性に関する詳細な諸元（飛行速度とピッチ角、推力のグラフ等）については、明らかになっていない。そこで今回、この B737 型 FTD の巡航時（水平飛行時）における飛行特性（飛行速度、ピッチ角、N1 エンジン回転数）について調査を実施した。

その結果、操縦訓練の際に有用となる飛行特性（ピッチ角、スタビライザトリム位置、N1 回転数の関係）を明らかにすることができたので、本報に記す。

Key Words: フライトシミュレータ、FTD、飛行性能

1. はじめに

近年、航空業界においては格安航空会社（LCC）の成長にともない、人や物資の輸送が活発になっている。これにともない航空機の運航数も年々急速に増えている。また、国内においては団塊の世代の操縦士が定年を迎えることもあり、航空機の操縦士不足が問題となっている。この社会的問題を解決するために、本学に

おいては2007年から操縦士の養成課程を設け、これまでに約50名の卒業生を航空会社に送り出している。

本学における操縦訓練においては、学生は約230時間の操縦訓練を受けて、航空会社の受験資格となる事業用免許、限定変更、計器飛行等の資格を取得している。

この操縦訓練は実際の航空機による訓練が主であるが、天候などの気象条件や訓練内容によっては、模擬飛行訓練装置（FTD）を用いた訓練を行っている。本学においても、FTD を

*崇城大学工学部宇宙航空システム工学科助教

単発機型（セスナ172型 2機）、双発機型（バロン B58 型 1機、G58 型 1機）、大型機（B737 型 1機）を所有している。この内、単発機型と双発機型の FTD の飛行特性については、実機に近い性能であることから、実機の飛行マニュアルをもとに操縦訓練を実施することが可能である。しかしながら、大型機（B737 型）のフライトシミュレータについては、本学には実機のマニュアルが無く、その性能について詳しく記したものが無いのが現状である。

B737 型 FTD は、小型機のライセンスを取得した学生を対象に、大型機の操縦に必要な知識と技術を修得するための応用訓練に用いられている。訓練では、空港からの離陸、上昇、巡航、降下、着陸の飛行状態を組み合わせた基本的なトラフィックパターンを定めて操縦訓練を実施している。この訓練においては予め与えられた飛行高度、速度、ピッチ角等を維持する操縦技術が必要であるが、小型機とは異なり飛行機の姿勢を変えるために操縦操作をした後、飛行機が姿勢を変化させ安定するまでの時間が長くなるため、機体の数秒後の状態を予測して操縦する必要がある。このような操作を行うためには、飛行機の基本的な飛行特性を知る必要があるが、現在ある飛行特性データは極めて限定な内容となっている。

この限定された内容を一般的な内容に充実させるために、B737 型 FTD を用いて飛行特性を得るための実験を行った。今回は、飛行姿勢が安定している巡航状態における飛行特性（飛行速度とピッチ角度の関係）を明らかにするために、以下の実験を実施した。

2. 模擬飛行訓練装置について

今回対象とした模擬飛行訓練装置（FTD）は日本ビーテーエー社製の BS21 型のフライトシミュレータである。本フライトシミュレータは、ボーイング社の 737 型機を模した装置になっている。その構成内容は、操縦操作の動きをパソコンに取り込むインターフェース部と取り込んだデータをもとに、機体の姿勢や運動（位置情報）を計算するコンピュータ、機体の姿勢およ

び運動をもとに外景および計器類を表示させるコンピュータとプロジェクターから構成されている。（図2-1 模擬飛行装置の概念図参照）

コンピュータへの入力装置のインターフェースとなる操縦桿、ラダーペダル、フラップレバー、スロットルレバーなどは、航空会社が使用するフルフライトシミュレータ（FFS）の構造寸法を計測しビーテーエー社が製作したものである。また、基本となる初期の飛行特性については、先述の訓練用トラフィックパターン（離陸・上昇・巡航・降下・着陸）での性能が FFS に近い状態になるように調整されている。

今回の調査対象とした飛行機の重量、重心位置は訓練で用いている状態と同じ値を用いた。さらに今回の調査においては操縦訓練で最も多く用いている高度2000[Ft.]で水平飛行した際の特性を求めている。飛行時の条件について、表2-1「飛行条件」に示す。

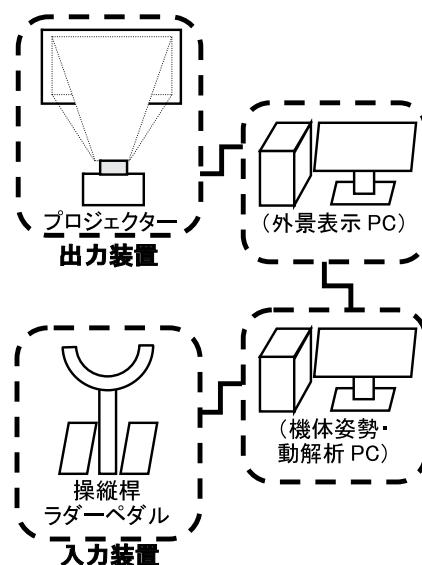


図 2-1：模擬飛行装置の概念図

表2-1：飛行条件

総重量	125000 ([lbf] (56.60 [kN]))
飛行高度	2000 [Ft.] (609.6 [m])
重心位置	MAC22%位置
空気状態	国際標準大気
飛行速度	IAS130~325 [knot] (241~602 [km/h])

水平飛行時のフラップ位置については4状態（FL up, FL 1, FL 5, FL 15）とし、FL 5 と FL 15 については、着陸装置が下りた状態（FL 5 G/D、FL 15 G/D）を加えた計6状態を対象とする。

今回の実験においては、各飛行速度における機体のピッチ角を求めることから、ピッチ角を変動させる操作としてはスタビライザトリム（STab Trim）位置を変化させるのみとし、昇降舵は初期の中立位置に固定した状態とする。また、飛行速度は、フラップ位置や着陸装置の有無により運用限界があるため、飛行状態によって調査した速度域は異なっている。（表2-2 参照）

表2-2：飛行状態と調査速度域

飛行状態	調査速度域
FL up	IAS175～325[knot] (324～602 [km/h])
FL 1	IAS150～250[knot] (278～463 [km/h])
FL 5	IAS140～200[knot]
FL 5 G/D	(259～370 [km/h])
FL 15	IAS130～175[knot]
FL 15 G/D	(241～324 [km/h])

計測時の機体の操作手順としては、高度1000 [Ft.] (304.8[m]) でフラップや着陸装置を計測状態にした後、操縦桿の昇降舵を用いて高度2000 [Ft.] (609.6[m]) まで上昇させる。その後、運用可能な最大速度より約5 [knot] 遅い速度になるように推力を調整する。次に、操縦桿の昇降舵を中立位置に戻しつつ、高度を維持できるように STab Trim 位置と推力を徐々に変化させ、速度が運用可能な最大速度となるように調整する。昇降舵が中立位置に移動し、速度と高度が維持された状態を1分間以上継続して保たれたことを確認して、ピッチ角や N1 回転数などの各パラメータの計測を行う。計測後は、次に計測する速度になるように推力を絞りながら、高度を維持できるように STab Trim 位置を調整する。計測する速度になり高度を維持しながら1分間以上安定飛行することを確認した後、各パラメータを計測する。上記手順を繰り返し

ながら、運用可能な最低速度での計測を終えた後は、これまでとは逆に推力を上げながら先述と同じ方法で計測を行う。以上の計測結果を基に同一速度における各パラメータの平均値を求め、飛行特性を明らかにした。

3. 計測結果

図3-1は、計測時におけるピッチ角度と STab Trim 位置の関係を示している。フラップ状態や着陸装置の有無によるピッチ角と STab Trim 位置を比較すると、STab Trim 位置8.0における、FL up 状態でのピッチ角が6.0 [deg] に対し、FL 15 G/D 状態でのピッチ角は約5.1 [deg] となっており、ピッチ角で0.9 [deg] 程度の差が生じている。フラップ位置が FL up → FL 1 → FL 5 → FL 15 と変化することにより、ピッチ角は若干小さくなっているが、いずれの飛行状態においてもピッチ角と STab Trim 位置の関係は線形的に変化しているため、必要なピッチ角が求まれば STab Trim 位置が決まることが判明した。

また、着陸装置の有無による違い（FL 5 と FL 5 G/D および FL 15 と FL 15 G/D）を比較すると、STab Trim 位置とピッチ角の関係に差が生じていないことが判明した。

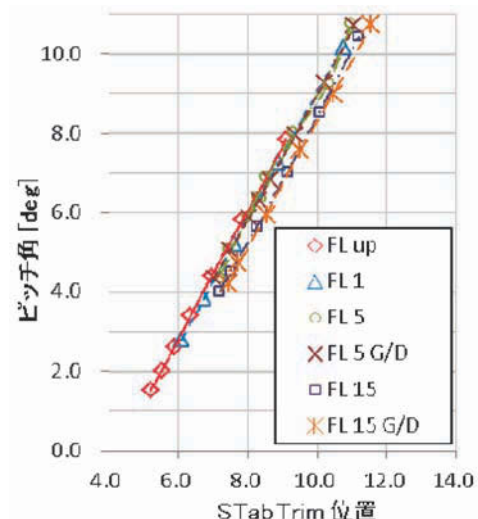


図3-1：各飛行状態における STab Trim 位置とピッチ角との関係

図3-2は、ピッチ角度と指示対気速度

(IAS) の関係を示している。この図において、同一の指示対気速度 (IAS) におけるピッチ角を比較すると、フラップ位置が FL up→FL 1→FL 5→FL15 と変わるにつれて、ピッチ角は小さくなっている。これは、フラップを下げることによって主翼の揚力係数が変化し、主翼全体で発生する揚力が増加したため、小さなピッチ角であっても必要な揚力が得られているためと推測できる。

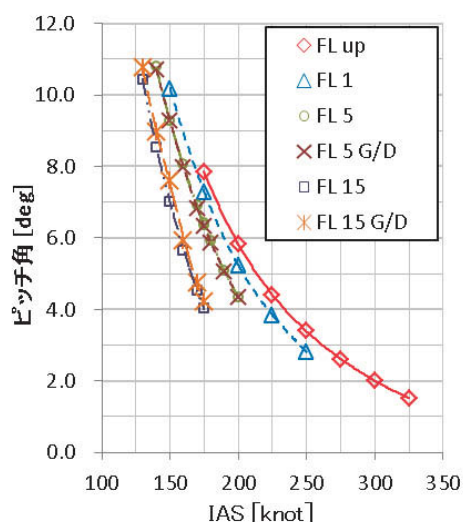


図3-2：各飛行状態における指示対気速度 (IAS) とピッチ角との関係

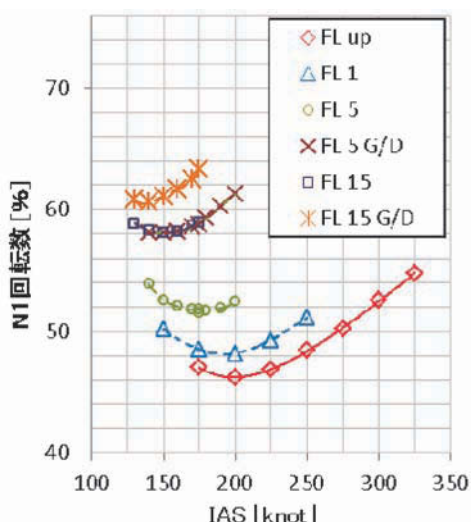


図3-3：各飛行状態における指示対気速度 (IAS) とN1回転数の関係

また、同一のピッチ角における指示対気速度 (IAS) を比較すると、FL up→FL 1→FL 5→FL15 とフラップを下げることによって、同一ピッチ角度で指示対気速度 (IAS) は遅くなっていることが分かる。

さらに、FL 5 と FL 5 G/D および FL 15 と FL 15 G/D の結果を比較することにより、着陸装置の有無による差は、ほとんど生じていないことが判明した。

図3-3は、N1 回転数と指示対気速度 (IAS) の関係を示している。今回計測した速度域においては、指示対気速度 (IAS) が速くなるにつれ N1 回転数は一旦減少した後再び増加している。一般的に N1 回転数の変化は、エンジン燃料の消費量およびエンジン推力の変化と同様の变化をすると考えることができる。このことから、N1 回転数が最小となる位置が最も燃料効率が良い状態で飛行できる指示対気速度 (IAS) であるといえる。加えて、N1 回転数が最小となる速度は、フラップ位置が大きくなるにつれて、低速側に移動している。また、FL 5 G/D と FL 15 の N1 回転数の値には、ほとんど差が無い結果となっている。

さらに、着陸装置の有無 (FL 5 と FL 5 G/D および FL 15 と FL 15 G/D) について比較すると、同一速度においては着陸装置が有る (G/D) 状態の方が N1 回転数は大きくなっており、その差は速度が上がるにつれて増大している。図3-2の結果が示すように、着陸装置の有無によるピッチ角の変化が無いことを考慮すると、着陸装置が有ることによって抗力が増し、速度を保持するため必要な推力が増加したために、N1 回転数が増大していることが推測できる。

4. おわりに

今回の実験によって、本学が所有している大型機 (B737 型) の模擬飛行訓練装置 (FTD) の巡航時 (水平飛行時) の飛行特性について明らかにすることができた。

この結果を用いることにより、この B737 型 FTD を用いた操縦訓練時において、要求され

た指示対気速度（IAS）に対応したピッチ角と N1 回転数を導くことが容易になった。

また、ピッチ角に応じた適切な STab Trim 位置に合わせることも容易となった。特に、着陸装置の有無がピッチ角に与える影響は無いことから、着陸装置を使用する際は昇降舵の操作はせずに、推力を調整するだけで飛行状態を移行できることが明らかとなった。

加えて、各飛行状態における最も燃料消費量が少ない飛行速度が明らかとなった。この結果を用いることで、各フラップ状態において、燃料の消費が少ない速度域を考慮した飛行訓練が可能となった。

今後の課題として、高度差による各パラメータの影響についても調査をする必要がある。また今回の調査した巡航時（水平飛行時）とは別に、上昇や降下時のように高度変化を伴う場合や、離陸時の飛行特性についても明らかにして、B737 型 FTD を用いた飛行訓練を充実させる必要があると考える。

謝辞

今回の大型飛行機の模擬飛行装置の飛行特性の調査にあたり、崇城大学工学部宇宙航空システム工学科の稲富徳昭教授には大型飛行機の操縦方法等についてご指導頂きましたことと、飯島宏教授には計測した飛行特性結果を基に、大型機に特有な操縦操作等についてご助言を頂きましたことに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 稲木嵩大, 根津優一: フライト・トレーニング・デバイスの設計・製作, 崇城大学卒業論文, 2010.
- 2) 片桐亮二: 航空機開発に必須なフライトシミュレータ, 日本バーチャルリアリティ学会誌, 78-79, 2011-06-30.
- 3) 谷苗浩平, 板橋優太, 田中敬司: 航空機開発に必須なフライトシミュレータ, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Journal of the Virtual Reality Society of Japan 16 (2), 78-79, 2011-06-30.
- 4) 柳井勝: マイクロソフト フライトシミュレーター, 航空情報 57 (3), 108-111, 2007-03 酣燈社.
- 5) 嶋田有三, 内山賢治, 安部建一: 人力飛行機用フライトシミュレータの開発, スカイスポーツシンポジウム講演集 12, 28-31, 2006.

